

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

PCT/ ES 01/00167

**OFICINA ESPAÑOLA**

de

**PATENTES y MARCAS**

REC'D 20 JUN 2001

WIPO

PCT

# **CERTIFICADO OFICIAL**

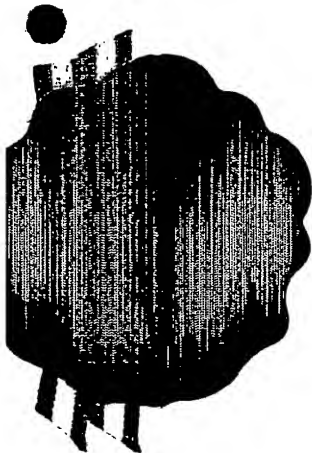
Por la presente certifico que los documentos adjuntos son copia exacta de la solicitud de PATENTE de INVENCION número 200001088 , que tiene fecha de presentación en este Organismo el 27 de Abril de 2000.

Madrid, 4 de junio de 2001

El Director del Departamento de Patentes  
e Información Tecnológica.

P.D.

M. MADRUGA





OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y  
MARCAS

INSTANCIA DE SOLICITUD DE:

☒ PATENTE DE INVENCION ☐ MODELO DE UTILIDAD

(1) <input type="checkbox"/> SOLICITUD DE ADICION <input type="checkbox"/> SOLICITUD DIVISIONAL <input type="checkbox"/> CAMBIO DE MODALIDAD <input type="checkbox"/> TRANSFORMACION SOLICITUD EUROPEA		(2) EXPED. PRINCIPAL O DE ORIGEN MODALIDAD NUMERO SOLICITUD FECHA SOLICITUD MODALIDAD NUMERO SOLICITUD FECHA SOLICITUD		NUMERO DE SOLICITUD <b>P200001136</b>	
				FECHA Y HORA DE PRESENTACION EN O.E.P.M. <b>00 ABR 27 16:48</b>	
				FECHA Y HORA DE PRESENTACION EN LUGAR DISTINTO O.E.P.M.	
(3) LUGAR DE PRESENTACION <b>MADRID</b>		CODIGO <b>28</b>			
(4) SOLICITANTES(S)		APELLIDOS O DENOMINACION JURIDICA <b>UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID</b>		NOMBRE <b>DNI</b> <b>Q-2818015-F</b>	
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Dpto. SECRETARIA GENERAL REPROGRAFIA Panamá, 1 - Madrid 28071					
(5) DATOS DEL PRIMER SOLICITANTE DOMICILIO <b>RAMIRO DE MAEZTU, 7, OTRI</b> LOCALIDAD <b>MADRID</b> PROVINCIA PAIS RESIDENCIA NACIONALIDAD <b>ESPAÑOLA</b>				TELEFONO <b>91 336 61 92</b> CODIGO POSTAL <b>28040</b> CODIGO PAIS <b>ES</b> CODIGO NACION <b>ES</b>	
(6) INVENTORES		(7) <input type="checkbox"/> EL SOLICITANTE ES EL INVENTOR <input type="checkbox"/> EL SOLICITANTE NO EL INVENTOR O UNICO INVENTOR		(8) MODO DE OBTENCION DEL DERECHO <input checked="" type="checkbox"/> INVENC. LABORAL <input type="checkbox"/> CONTRATO <input type="checkbox"/> SUCESION	
APELLIDOS <b>ALGORA DEL VALLE</b>		NOMBRE <b>CARLOS</b>		NACIONALIDAD <b>ESPAÑOLA</b> COD. NACION <b>ES</b>	
(9) TITULO DE LA INVENCION <b>Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica</b>					
(10) INVENCION REFERENTE A PROCEDIMIENTO MICROBIOLOGICO SEGUN ART. 25.2 L.P. <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO					
(11) EXPOSICIONES OFICIALES LUGAR FECHA					
(12) DECLARACIONES DE PRIORIDAD PAIS DE ORIGEN COD. PAIS NUMERO FECHA					
(13) EL SOLICITANTE SE ACOGE A LA EXENCION DE PAGO DE TASAS PREVISTA EN EL ART. 162 L.P. <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO					
(14) REPRESENTANTE		APELLIDOS		NOMBRE CODIGO	
DOMICILIO		LOCALIDAD		PROVINCIA COD. POSTAL	
(15) RELACION DE DOCUMENTOS QUE SE ACOMPAÑAN <input checked="" type="checkbox"/> DESCRIPCION. Nº DE PAGINAS..... <input checked="" type="checkbox"/> REIVINDICACIONES. Nº DE PAGINAS. <input checked="" type="checkbox"/> DIBUJOS. Nº DE PAGINAS..... <input checked="" type="checkbox"/> RESUMEN <input type="checkbox"/> DOCUMENTO DE PRIORIDAD <input type="checkbox"/> TRADUCCION DEL DOCUMENTO DE PRIORIDAD <input type="checkbox"/> DOCUMENTO DE REPRESENTACION <input type="checkbox"/> PRUEBAS <input type="checkbox"/> JUSTIFICANTE DEL PAGO DE TASAS <input type="checkbox"/> HOJA DE INFORMACIONES COMPLEMENTARIAS <input checked="" type="checkbox"/> OTROS				FIRMA DEL FUNCIONARIO FIRMA DEL SOLICITANTE O REPRESENTANTE	
(16) NOTIFICACION DE PAGO DE LA TASA DE CONCESION					

Se le notifica que esta solicitud se considerará retirada si no procede al pago de la tasa de concesión; para el pago de esta tasa dispone de tres meses a contar desde la publicación del anuncio de la concesión en el BOPI, más los diez días que establece el art. 81 del R.D. 10-10-86.

Saturnino de la Plaza  
Rector UPM



# PATENTE

## RESUMEN Y GRAFICO

NUMERO DE SOLICITUD

FECHA DE PRESENTACION

### RESUMEN (Máx. 150 palabras)

Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica.

Se trata de convertidores fotovoltaicos que trabajan bajo luz de intensidad elevada y logran una alta eficiencia. Producen electricidad fotovoltaica a costes reducidos, lo que es de gran interés para la industria fotovoltaica. Su aplicación puede extenderse a sistemas termofotovoltaicos y sistemas de telealimentación por fibra óptica. El convertidor se caracteriza porque: a) sus capas semiconductoras son de compuestos III-V, b) se utiliza fotolitografía para su fabricación y c) su tamaño está comprendido en el rango que va de las décimas a las decenas de milímetros cuadrados. Para su fabricación se pueden utilizar otras técnicas optoelectrónicas como la soldadura por hilo, la separación de los convertidores sobre una misma oblea por serrado, corte con punta y clivado. Sus parámetros de diseño se calculan mediante optimización multivariable. Entre las condiciones de funcionamiento se considera la situación en la que luz incidente tenga forma de cono y proceda de un medio con cualquier índice de refracción.

### GRAFICO

OFICINA

OFICINA DE PATENTES



Y MARCAS

## DATOS DE PRIORIDAD

(31) NUMERO

(32) FECHA

(33) PAIS

A1

(12) PATENTE DE INVENCION

(21) NUMERO DE SOLICITUD  
P 200001088

(22) FECHA DE PRESENTACION

(71) SOLICITANTE (S)  
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRIDNACIONALIDAD  
ESPAÑOLADOMICILIO RAMIRO DE MAEZTU, 7, OTRI  
MADRID 28040

(72) INVENTOR (ES) ALGORA DEL VALLE CARLOS

(73) TITULAR (ES)

(11) N.º DE PUBLICACION

(45) FECHA DE PUBLICACION

(62) PATENTE DE LA QUE ES  
DIVISIONARIA

GRAFICO (SOLO PARA INTERPRETAR RESUMEN)

(51) Int. Cl.

(54) TITULO

Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para  
intensidades luminosas elevadas fabricado con  
tecnología optoelectrónica

(57) RESUMEN (APORTACION VOLUNTARIA, SIN VALOR JURIDICO)

Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas  
fabricado con tecnología optoelectrónica.

Se trata de convertidores fotovoltaicos que trabajan bajo luz de intensidad elevada y logran una alta eficiencia. Producen electricidad fotovoltaica a costes reducidos, lo que es de gran interés para la industria fotovoltaica. Su aplicación puede extenderse a sistemas termofotovoltaicos y sistemas de telealimentación por fibra óptica. El convertidor se caracteriza porque: a) sus capas semiconductoras son de compuestos III-V, b) se utiliza fotolitografía para su fabricación y c) su tamaño está comprendido en el rango que va de las décimas a las decenas de milímetros cuadrados. Para su fabricación se pueden utilizar otras técnicas optoelectrónicas como la soldadura por hilo, la separación de los convertidores sobre una misma oblea por serrado, corte con punta y clivado. Sus parámetros de diseño se calculan mediante optimización multivariable. Entre las condiciones de funcionamiento se considera la situación en la que luz incidente tenga forma de cono y proceda de un medio con cualquier índice de refracción.

## TITULO

Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica

### 5 DESCRIPCIÓN

Se describe un convertidor fotovoltaico que transforma luz de intensidad elevada en electricidad con una eficiencia alta. Su fabricación está basada en procesos estándar de la industria optoelectrónica. El coste reducido de la electricidad que produce radica en la utilización de luz de intensidad elevada, en su alta eficiencia de conversión o rendimiento (definido como la fracción de potencia eléctrica producida por el convertidor respecto de la potencia luminosa incidente) en relación con las eficiencias que suelen obtenerse cuando el convertidor trabaja bajo luz de intensidad elevada y en el bajo coste del proceso de fabricación optoelectrónico.

### ESTADO DE LA TECNICA ANTERIOR

Una de las estrategias más prometedoras de la industria fotovoltaica para conseguir una reducción del precio de la electricidad es la utilización de la concentración. La concentración se basa en la utilización de elementos ópticos que aumentan la intensidad de la luz solar que recibe la célula solar (convertidor fotovoltaico). De esta forma, se intercambia el material semiconductor de la célula solar por material óptico que es mucho más barato. Existen otras aplicaciones en las que un convertidor fotovoltaico transforma luz de intensidad elevada. Las más notorias son: a) la transformación de luz monocromática proveniente de un láser y canalizada a través de una fibra óptica, en la que la intensidad de luz es elevada, no porque se haya concentrado por métodos ópticos sino por la irradiancia elevada del láser, y b) la conversión de luz infrarroja (calor) en electricidad, que se denomina conversión termofotovoltaica, en la que la intensidad de la radiación puede ser elevada en función de la fuente calorífica, entendiendo por intensidad elevada la que supere  $100 \text{ mW/cm}^2$ , que es el estándar promediado de la radiación solar sobre la Tierra. En este sentido y desde un punto de vista práctico que establezca una diferencia más clara, en esta invención se entenderá por intensidades elevadas las superiores a  $1 \text{ W/cm}^2$  (10 veces la radiación solar media).

A lo largo de esta descripción y por motivos de simplicidad se entiende por luz la radiación ultravioleta, visible e infrarroja, de manera que la conversión fotovoltaica engloba también la termofotovoltaica. Por convertidor fotovoltaico se entiende un dispositivo semiconductor que transforma la luz en electricidad.

5 De los diversos materiales semiconductores, los compuestos III-V como el arseniuro de galio, antimoniuro de galio, arseniuro de galio y aluminio, etc., son especialmente adecuados para construir convertidores fotovoltaicos de alta eficiencia. Muchos de ellos funcionan eficientemente con luz de intensidad elevada. Así por ejemplo, la eficiencia más elevada del mundo de células solares de silicio es el 26,8% bajo una intensidad luminosa equivalente de 96  
10 soles, mientras que en el caso del arseniuro de galio es el 27,6% a 255 soles. Como se observa; aunque las eficiencias son parecidas, las intensidades luminosas a las que se obtienen son muy diferentes, siendo mucho mayor la del arseniuro de galio.

Sin embargo, esta situación de privilegio de los convertidores fotovoltaicos basados en semiconductores III-V no tiene un reflejo en la industria fotovoltaica actual. En primer lugar;  
15 apenas se fabrican células solares con semiconductores III-V debido a su coste elevado frente al silicio, salvo para aplicaciones espaciales donde el coste no es el principal elemento de decisión. En segundo lugar, la utilización de luz de intensidad elevada, que reduciría el coste, choca con la casi inexistencia de convertidores fotovoltaicos que funcionen eficientemente bajo intensidades luminosas elevadas. Dicha inexistencia se debe principalmente a: a) la resistencia serie del  
20 convertidor que al paso de fotocorrientes elevadas (producidas bajo luz intensa) provoca unas pérdidas óhmicas que deterioran la eficiencia global, y b) el calor desprendido por la elevada potencia luminosa incidente y, que en caso de no evacuarse eficientemente, también deteriora la eficiencia del convertidor, pudiendo llegar incluso a provocar su destrucción.

Tradicionalmente la fabricación se ha basado en un diseño óptimo de los convertidores  
25 fotovoltaicos que contemplaba la realidad de forma parcial. Por un lado, se optimizaba la estructura semiconductor con el objetivo de obtener la máxima eficiencia, por otro se optimizaban las capas antirreflectantes con la idea de minimizar la reflectividad o de maximizar la transmitividad y, en paralelo, se optimizaba la malla de metalización frontal con el propósito de conseguir la resistencia serie mínima.

30 Estas tres fases del diseño, ligadas con otras tantas fases de la fabricación del convertidor

fotovoltaico, se han llevado a cabo hasta ahora de forma independiente, salvo por el uso de algunas condiciones de ligadura impuestas artificialmente, lo que ha conducido a diseños que en ocasiones, se han alejado notablemente del óptimo. Los ejemplos son numerosos. Así, para el diseño de la estructura semiconductor se imponía que en el convertidor fotovoltaico entraba una  
 5 cierta intensidad de luz sin saber exactamente la que las capas antirreflectantes permitirían que entrara realmente; en el diseño de la estructura semiconductor no se tenían en cuenta los valores de las resistencias específicas de contacto; nunca se determinó un área o tamaño óptimo del convertidor y tampoco se analizó el caso en el que la luz llegara al convertidor formando un cono, como ocurre, por ejemplo, siempre que se concentra la luz mediante elementos ópticos.

10 Por tanto, y dado el potencial que presentan los convertidores fotovoltaicos basados en semiconductores III-V, se desprende que si se encontrara la forma de fabricarlos a un precio reducido y de forma que funcionaran eficientemente bajo luz intensa, superando los problemas existentes hasta ahora tanto en su diseño como obtención, dichos convertidores fotovoltaicos se transformarían en un producto atractivo, por lo que adquirirían un interés industrial y comercial  
 15 evidente.

## EXPLICACION DE LA INVENCION

En consecuencia, esta invención incluye los procesos y procedimientos para la obtención de convertidores fotovoltaicos, que trabajando bajo luz intensa, posean las características  
 20 siguientes:

a) *Obtención de una eficiencia elevada*, gracias a un diseño que por primera vez considera al convertidor globalmente, es decir, como el conjunto formado por su estructura semiconductor, sus contactos óhmicos, su geometría, su malla de metalización y sus capas antirreflectantes, optimizando cada uno de estos elementos en relación con los demás, en vez de cada uno de  
 25 forma aislada.

b) *Evacuación eficiente del calor*, debido al tamaño reducido del convertidor que aquí se propone (algunos milímetros cuadrados), calculándose el tamaño óptimo para cada concentración luminosa y para las características de la tecnología de fabricación disponible.

c) *Precio reducido*, merced a la utilización de tecnologías típicas de la industria optoelectrónica

que mediante la reducción de costes ha extendido la utilización de dispositivos basados en semiconductores III-V como los diodos emisores de luz (en inglés LED's), diodos láser, fotodiodos, etc. Además, se trata de una industria en constante evolución, por lo que las nuevas técnicas que vayan apareciendo podrán ser utilizadas en la fabricación de los convertidores fotovoltaicos aquí propuestos.

Aunque las soluciones de los problemas citados (a, b y c) constituyen independientemente una novedad, es la utilización de las tres conjuntamente la que produce unos convertidores fotovoltaicos excelentes. Efectivamente, el diseño singular que se presenta determina un convertidor con unas características que no se podría fabricar sin la utilización de tecnologías optoelectrónicas. A su vez, el grado de desarrollo de estas tecnologías influye en el tamaño óptimo del convertidor y realimenta constantemente el diseño, el cual es capaz de adaptar la estructura óptima del convertidor en función de las condiciones externas de funcionamiento y de la tecnología de fabricación disponible. Por tanto, la estructura óptima del convertidor estará en función de las condiciones externas de funcionamiento y de la tecnología de fabricación disponible.

De aquí en adelante se empleará la expresión "cono de luz" para referirse más fácilmente a la situación en la que luz se concentra sobre el convertidor. La forma final exacta dependerá de la forma de la lente (más grande que el convertidor), de manera que si es circular el haz de luz tendrá forma aproximada de cono y si es cuadrada de pirámide. La situación también puede ser: la inversa, es decir, que el convertidor sea mayor que la fuente de luz. Tal es el caso de la luz láser saliente de una fibra óptica de algunas decenas de micra de diámetro que ilumine un convertidor de  $1 \text{ mm}^2$ , por ejemplo. Esta es la situación habitual en los sistemas de telealimentación por fibra óptica. En consecuencia, estas situaciones de concentración/desconcentración y formas reales se agruparán todas ellas bajo el término "cono de luz".

La densidad de corriente de iluminación de un convertidor fotovoltaico (véase figura 1) que recibe la luz de un medio (1) con un índice de refracción dado dentro de un cono que forma un ángulo ( $\theta_i$ ) con la normal es:



$$J_L(\theta_i) = \frac{q \int_0^{\theta_i} \int_{\lambda_{Luz}}^{\lambda_{EG}} [1 - F_s(\theta_i)] N_{ph}(\lambda) T(\theta, \lambda) \sin 2\theta QE(\theta, \lambda) d\theta d\lambda}{\sin^2 \theta_i} \quad [1]$$

en donde la transmitividad,  $T(\theta, \lambda)$ , debe evaluarse para el rango de longitudes de onda que comparten la luz incidente ( $\lambda_{Luz}$ ) y la banda prohibida del semiconductor ( $\lambda_{EG}$ ). El resto de parámetros son la carga del electrón,  $q$ ; el factor de sombra de la malla de metalización frontal que es óptimo para un ángulo dado,  $F_s(\theta_i)$ ; el espectro de la luz incidente,  $N_{ph}(\lambda)$  y la eficiencia cuántica interna del convertidor fotovoltaico,  $QE(\theta, \lambda)$ , que es función de numerosos parámetros de la estructura semiconductor como espesores, dopajes, tiempos de vida, coeficientes de absorción, etc. La ecuación [1] es válida para un cono de luz con forma cónica. Para otras formas, como las aludidas anteriormente, la expresión de la ecuación [1] debería modificarse, estando su cálculo geométrico al alcance de cualquier experto. En todo caso, las conclusiones aquí obtenidas para la forma cónica son aplicables al resto de situaciones.

La expresión habitual de la eficiencia cuántica debe modificarse ligeramente cuando la luz llega al convertidor (A) en forma de cono, ya que la luz al pasar desde el medio incidente hacia el convertidor fotovoltaico, experimenta un cambio de dirección (refracción). El ángulo que forma la luz con la normal en cada capa de semiconductor está gobernado por la Ley de Snell, por lo que dicho ángulo determina el camino que la luz sigue en cada capa. Por tanto, la luz no atraviesa las capas perpendicularmente, sino de forma oblicua, de manera que su recorrido es mayor. En consecuencia, estos recorridos que llamaremos espesores ópticos, han de sustituir a los espesores de capa en la expresión de la eficiencia cuántica.

Conocida la expresión de  $J_L(\theta_i)$  a través de la ecuación [1], la característica  $J-V$  (densidad de corriente-tensión) de un convertidor fotovoltaico puede expresarse como

$$J(\theta_i) = J_L(\theta_i) - J_{01}(\theta_i) \left[ \exp \frac{V(\theta_i) + J(\theta_i)r_s(\theta_i)}{V_T} - 1 \right] - J_{02}(\theta_i) \left[ \exp \frac{V(\theta_i) + J(\theta_i)r_s(\theta_i)}{2V_T} - 1 \right] \quad [2]$$

donde  $J_{01}(\theta_i)$  es la densidad de corriente de recombinación con pendiente  $kT$  siendo  $k$  la constante de Boltzman,  $J_{02}(\theta_i)$  es la densidad de corriente de recombinación con pendiente  $2kT$ ,  $V_T$  es el potencial térmico y  $r_s(\theta_i)$  la resistencia serie. Todas ellas dependen del ángulo que forme el cono de luz con la normal. Además,  $J_{01}(\theta_i)$  depende, entre otros, de los espesores y dopajes de las

capas semiconductoras en tanto que  $J_{02}(\theta_i)$  depende, entre otras, de la recombinación en el perímetro y que, a su vez, depende de la relación perímetro/área del convertidor fotovoltaico.

La resistencia serie está compuesta de varios términos. Básicamente, puede expresarse como:

$$r_s = r_{FC} + r_L + r_{BC} + r_V + r_G \quad [3]$$

donde  $r_L$  es la resistencia al flujo lateral de corriente;  $r_V$  es la resistencia al flujo vertical de corriente;  $r_G$ , es la contribución de la malla de metalización frontal;  $r_{BC}$ , es la contribución del contacto trasero y  $r_{FC}$  la contribución del contacto frontal. Por tanto, la resistencia serie, por lo variado de sus orígenes, depende de la forma del convertidor (circular, cuadrado, rectangular, etc.), de la forma concreta de la malla de metalización, del tamaño del dispositivo, de espesores y dopajes de las capas semiconductoras, de la conductividad de los metales y de sus espesores.

Con ayuda de la ecuación [3], la ecuación [2] puede resolverse para obtener la característica de iluminación  $J(\theta_i) - V(\theta_i)$ . A partir de ella, la eficiencia para cualquier cono de luz puede calcularse. En el caso de iluminación perpendicular u oblicua los cálculos se simplifican notablemente, ya que no existe dependencia con el ángulo  $\theta_i$  (iluminación perpendicular) o, aún existiendo, no es preciso integrar en la ecuación [1] para dicho ángulo (iluminación oblicua). El modelo incorpora el caso general en que la luz (cono de luz con el espectro correspondiente a cada caso particular) llegue al convertidor procedente de un medio incidente distinto al aire (es decir, con cualquier índice refracción). Esta posibilidad de cálculo es especialmente importante para convertidores fotovoltaicos que formen parte de sistemas más complejos y para lo cual tengan que ser encapsulados con epoxis o siliconas. Tal es el caso, por ejemplo, de los sistemas fotovoltaicos de concentración basados en óptica anidólica en los que el convertidor fotovoltaico se une al concentrador óptico mediante siliconas, epoxis, resinas o similares, como ocurre en aplicaciones en que la fuente es solar o calorífica.

La tremenda ventaja de esta formulación es que se puede maximizar la función de la eficiencia mediante métodos de cálculo multidimensionales, de manera que se pueden determinar los valores de varios parámetros de diseño del convertidor (estructura semiconductor de compuestos III-V, contactos óhmicos, geometría, malla de metalización y capas antireflectantes) que hacen máximo su rendimiento. A esta operación se la llama optimización multivariable.

Todo este procedimiento de cálculo se puede incorporar en un programa informático que lleve a cabo la ingente cantidad de cálculos necesarios en sólo unos segundos. De esta manera, suponiendo un espectro e intensidad luminosa dados y una temperatura de funcionamiento, se pueden obtener los valores óptimos de espesores y dopajes de capas semiconductoras, espesores de capas antirreflectantes, tamaño del convertidor, forma y factor de sombra de la malla de metalización, etc. Es decir, dadas unas condiciones externas de funcionamiento se pueden determinar las características del convertidor fotovoltaico óptimo.

Otra utilidad añadida se debe a su adaptación a cada tecnología específica de fabricación. En un convertidor fotovoltaico existen parámetros con valores óptimos (como los anteriormente citados). Por ejemplo, el factor de sombra conviene que sea lo menor posible desde el punto de vista de maximizar la luz que entra al convertidor pero, simultáneamente, es deseable que sea lo mayor posible para disminuir la resistencia serie. De este compromiso surge un valor óptimo del factor de sombra. Adicionalmente, existen otros parámetros cuyo mejor valor es el máximo o el mínimo que se pueda conseguir. Por ejemplo, interesa que la resistencia específica de contacto sea lo más pequeña posible. De igual forma, interesa que la conductividad de los metales de los contactos sea la mayor posible. Obviamente, tanto los valores óptimos (resultantes de un compromiso) como los máximos y mínimos, están limitados en numerosas ocasiones por la tecnología disponible. Por tanto, los valores alcanzables tecnológicamente condicionan al resto de la estructura del convertidor, lo cual se refleja en el diseño aquí presentado. En consecuencia, para la determinación del diseño óptimo hay que conocer, en primer lugar, la mayor parte de los parámetros característicos de la tecnología para, a continuación, calcular los valores óptimos de otros parámetros.

Así por ejemplo, el procedimiento adecuado para determinar el factor de sombra de la malla de metalización frontal necesita, primeramente, conocer los valores de la resistencia específica de contacto, de la conductividad del metal y del ancho de dedo que se obtienen con una determinada tecnología para, a continuación, calcular espesores y dopajes óptimos de las capas semiconductoras así como el factor de sombra óptimo de la malla. Este proceso permite obtener convertidores más eficientes que los obtenidos con el proceso que habitualmente se ha utilizado y que consiste en determinar directamente el factor de sombra con tan solo conocer la intensidad luminosa incidente. En conclusión, el diseño aquí propugnado permite determinar las

características del convertidor fotovoltaico que consigue la mayor eficiencia para una tecnología determinada y unas condiciones externas dadas.

Uno de los resultados más novedosos del diseño óptimo es el tamaño de los convertidores fotovoltaicos que es del orden de los milímetros cuadrados, llegando incluso a estar por debajo del milímetro cuadrado, por ejemplo, para intensidades luminosas de 1000 o más soles en el caso de arseniuro de galio (GaAs). Por tanto, para acotar el tamaño óptimo de los convertidores que sirva para diferentes compuestos III-V e intensidades luminosas, puede decirse que está comprendido en el rango que va de las décimas a las decenas de milímetros cuadrados. Estos tamaños tan pequeños son completamente ajenos a los que fabrica actualmente la industria fotovoltaica (que son típicamente de varios centímetros cuadrados), por lo que es necesario un replanteamiento del proceso de fabricación. Nuestra propuesta es utilizar técnicas y procesos de la industria microelectrónica y optoelectrónica en las que: a) el tamaño del milímetro cuadrado encaja muy bien con sus pautas de fabricación y b) los dispositivos fabricados sobre semiconductores III-V son económicamente muy rentables.

#### BREVE EXPLICACION DEL DIBUJO

En la figura 1 se muestra una sección de un convertidor fotovoltaico (A) que consta de varias capas semiconductoras (desde la 2 a la n-1). La capa n es el sustrato y puede ser un semiconductor III-V u otro tipo de semiconductor como germanio o silicio, o incluso un sustrato no semiconductor como soportes cerámicos, cristales u otro similar sobre el que se apilen las n-2 capas semiconductoras. El convertidor fotovoltaico (A) está en contacto por su parte superior con un medio (1) que tiene un índice de refracción dado. La luz llega en forma de cono (región sombreada) desde el medio incidente (1) hasta el convertidor fotovoltaico (A). Dicho cono forma un ángulo  $\theta_i$  con la normal al convertidor (A). El cono de luz se modela como un conjunto de rayos de luz con diferentes longitudes de onda ( $\lambda$ ) y cada rayo (B) forma un ángulo  $\theta_1$  con la normal al convertidor.

La luz atraviesa el sistema de capas antirreflectantes (2) para llegar a las capas semiconductoras fotoactivas (2 a n-1). El rayo tomado como ejemplo (B) no atraviesa las capas perpendicularmente, sino de forma oblicua (debido a la refracción), de manera que su recorrido

es mayor (flechas oblicuas de una sola punta), formando un ángulo con la normal  $\theta_3$ ,  $\theta_4$ , etc., en cada capa. En consecuencia, estos recorridos que llamamos espesores ópticos (flechas oblicuas de dos puntas), han de sustituir a los espesores de capa (flechas verticales de dos puntas) en la expresión de la eficiencia cuántica.

- 5        Esta situación se da para todas las capas semiconductoras del convertidor que sean de distinto material (como la 3 y la 4) excepto en el caso de que dos capas contiguas sean del mismo material (como la 4 y la 5) en cuyo caso no hay refracción. El proceso se completa cuando una vez atravesadas todas las capas la luz llega al sustrato (n). Por simplicidad no se ha dibujado el contacto metálico frontal ni el trasero.

10

#### MODO DE REALIZACION

- En consecuencia, un posible modo de fabricación consistiría en: a) el crecimiento de la estructura semiconductor a base de compuestos III-V sobre un sustrato por tecnologías como MOCVD, LPE o MBE, b) depósito del contacto metálico trasero mediante evaporación y
- 15    tratamiento térmico para la formación del contacto óhmico, c) proceso fotolitográfico para la definición de los numerosos convertidores fotovoltaicos sobre una misma oblea semiconductor, así como de la forma de la malla frontal de cada uno de ellos, d) depósito del contacto metálico frontal mediante evaporación, lift-off y tratamiento térmico para la formación del contacto óhmico, e) depósito de las capas antirreflectantes, f) separación de los convertidores contenidos
- 20    en una misma oblea mediante serrado (sawing), corte con punta de diamante, clivado u otras técnicas similares; es recomendable un ataque de mesas previo para reducir los efectos del dañado por corte. Una vez obtenidos numerosos convertidores fotovoltaicos de una oblea, cada uno de ellos puede encapsularse mediante: g) fijación del convertidor a través de su contacto posterior a un soporte mediante epoxi o pasta de soldadura, y h) conexión del contacto frontal
- 25    mediante soldadura de hilo (wire bonding), pick and place, flip-chip, multichip-module u otras similares. Una vez encapsulado, el convertidor podría unirse a un concentrador óptico mediante siliconas, epoxis, resinas u otras similares.

- Como consecuencia del diseño óptimo pueden relajarse, o incluso, suprimirse algunos procesos hasta ahora necesarios. Por ejemplo, puede eliminarse la electrólisis de la malla frontal
- 30    con la que se consigue aumentar el espesor de los dedos de la malla frontal y, en consecuencia, se

reduce la resistencia serie. A cambio, basta evaporar un espesor del contacto frontal de algunas décimas de micra o, si es preciso, de algunas micras para lo cual se pueden utilizar algunos tipos de fotorresinas negativas que permiten conseguir varias micras de espesor de metal sin que el lift-off se vea dificultado.

5 Tanto el diseño específico como el procedimiento de fabricación descritos para fuentes solares y para fuentes caloríficas pueden aplicarse tanto a convertidores fotovoltaicos de una sola unión p-n semiconductor (monounión) como a los formados por varias uniones de semiconductores diferentes (multiunión), que suelen llamarse convertidores o células *tándem*. Estas estructuras son de gran importancia ya que están llamadas a ser el futuro de los

10 convertidores fotovoltaicos, puesto que son capaces de conseguir eficiencias más elevadas que las monounión al aprovechar mejor el espectro de la luz incidente. También pueden aplicarse a convertidores fotovoltaicos con conexión monolítica en serie, como los utilizados en sistemas de telealimentación por fibra óptica, para aumentar el voltaje de salida. Por último, esta invención es de aplicación también para obtener convertidores termofotovoltaicos en los que el material

15 semiconductor que los forman y su diseño se adaptan al espectro infrarrojo proveniente de una fuente de calor. Los convertidores termofotovoltaicos también pueden ser monounión o multiunión (para, al igual que en el caso solar, lograr una mayor eficiencia al aprovechar mejor el espectro infrarrojo), y pueden tener conexión monolítica en serie o no.

Por consiguiente, los convertidores fotovoltaicos descritos en esta invención tienen tres

20 campos de interés industrial: a) la energía solar fotovoltaica para la que el espectro es el procedente del sol, en donde los convertidores han de unirse a concentradores ópticos que incrementen la intensidad luminosa del sol, de manera que si se consiguen eficiencias elevadas y costes reducidos, el coste final de la energía eléctrica producida sería competitivo con la obtenida a partir de combustible fósiles; b) la producción de energía eléctrica a partir de fuentes caloríficas

25 como ocurre en las fábricas de acero, aluminio, vidrio, etc. También se está abriendo un amplio mercado en aplicaciones aisladas, a las que no llega el suministro eléctrico convencional, pero donde sí existen estufas u otras fuentes de calor a partir de las que se podría generar electricidad; y c) la conversión de luz canalizada por fibra óptica y procedente de un láser. Estos sistemas llamados de telealimentación por fibra óptica consiguen enviar energía eléctrica a lugares en los

30 que su transporte está contraindicado por problemas de aislamiento galvánico, chispas, etc.



A 5x5 grid of dots forming the number 10. The top row has 4 dots, the second row has 5 dots, the third row has 4 dots, the fourth row has 5 dots, and the bottom row has 5 dots.



## REIVINDICACIONES

1. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica **caracterizado** porque a) sus capas semiconductoras son de compuestos III-V, b) se utiliza fotolitografía para la definición de los numerosos convertidores fotovoltaicos sobre una misma oblea semiconductora, así como para la forma de la malla frontal de cada uno de ellos, c) su tamaño está comprendido en el rango que va de las décimas a las decenas de milímetros cuadrados, y d) la separación de los convertidores de una misma oblea se realiza por serrado (sawing) o por corte con punta o por clivado u otras técnicas similares.
2. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el sustrato puede ser un semiconductor III-V u otro tipo de semiconductor como germanio o silicio, o incluso un sustrato no semiconductor como soportes cerámicos, cristales u otro similar.
3. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica según reivindicaciones 1 y 2 **caracterizado** porque transforma en energía eléctrica el cono de luz incidente, con el espectro correspondiente a cada caso particular y procedente de un medio con cualquier índice de refracción.
4. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por su uso en aplicaciones de energía solar fotovoltaica, para las que el espectro particular es el procedente del sol, y en las que se une el convertidor, previamente encapsulado, a un concentrador óptico que incrementa la intensidad luminosa procedente del sol.
5. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el convertidor fotovoltaico se une al concentrador óptico mediante siliconas, epoxis, resinas o similares.
6. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por producir energía eléctrica a partir de fuentes caloríficas (estufas y similares) y cuyo espectro particular



es, principalmente, infrarrojo.

7. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1, 2, 3 y 6, **caracterizado** porque el convertidor fotovoltaico, previamente encapsulado, se une al concentrador óptico mediante siliconas, epoxis, resinas o similares.
8. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por realizar la conversión de luz canalizada por fibra óptica y procedente de un láser en energía eléctrica para aplicaciones en ambientes de riesgo como alimentación de sensores y electrónica en minas, cabeceras de redes de alta tensión, industrias químicas, centrales nucleares, y similares.
9. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque consta de una unión semiconductor.
10. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque consta de varias uniones semiconductoras.
11. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según las reivindicaciones 1 a 3 y 6, **caracterizado** por poseer una conexión monolítica en serie para aumentar el voltaje de salida.
12. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3 y 6, **caracterizado** porque consta de una sola unión semiconductor.
13. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3 y 6, **caracterizado** porque consta de varias uniones semiconductoras.
14. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica, según reivindicaciones 1 a 3 y 8, **caracterizado** por poseer una conexión monolítica en serie para aumentar el voltaje de salida.

15. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica según reivindicaciones 1 a 5 **caracterizado** porque su encapsulado se realiza mediante técnicas optoelectrónicas como: a) fijación del convertidor a través de su contacto posterior a un soporte mediante epoxi o pasta de soldadura, y b) conexión del contacto frontal mediante soldadura de hilo (wire bonding), pick and place, flip-chip, multichip-module u otras similares.
16. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica según reivindicaciones 1, 2, 3, 6 y 7 **caracterizado** porque su encapsulado se realiza mediante técnicas optoelectrónicas como: a) fijación del convertidor a través de su contacto posterior a un soporte mediante epoxi o pasta de soldadura, y b) conexión del contacto frontal mediante soldadura de hilo (wire bonding), pick and place, flip-chip, multichip-module u otras similares.
17. Convertidor fotovoltaico de alta eficiencia para intensidades luminosas elevadas fabricado con tecnología optoelectrónica según reivindicaciones 1 a 16 **caracterizado** porque los parámetros de diseño (estructura semiconductor de compuestos III-V, contactos óhmicos, geometría, malla de metalización y capas antireflectantes) se calculan mediante optimización multivariable.

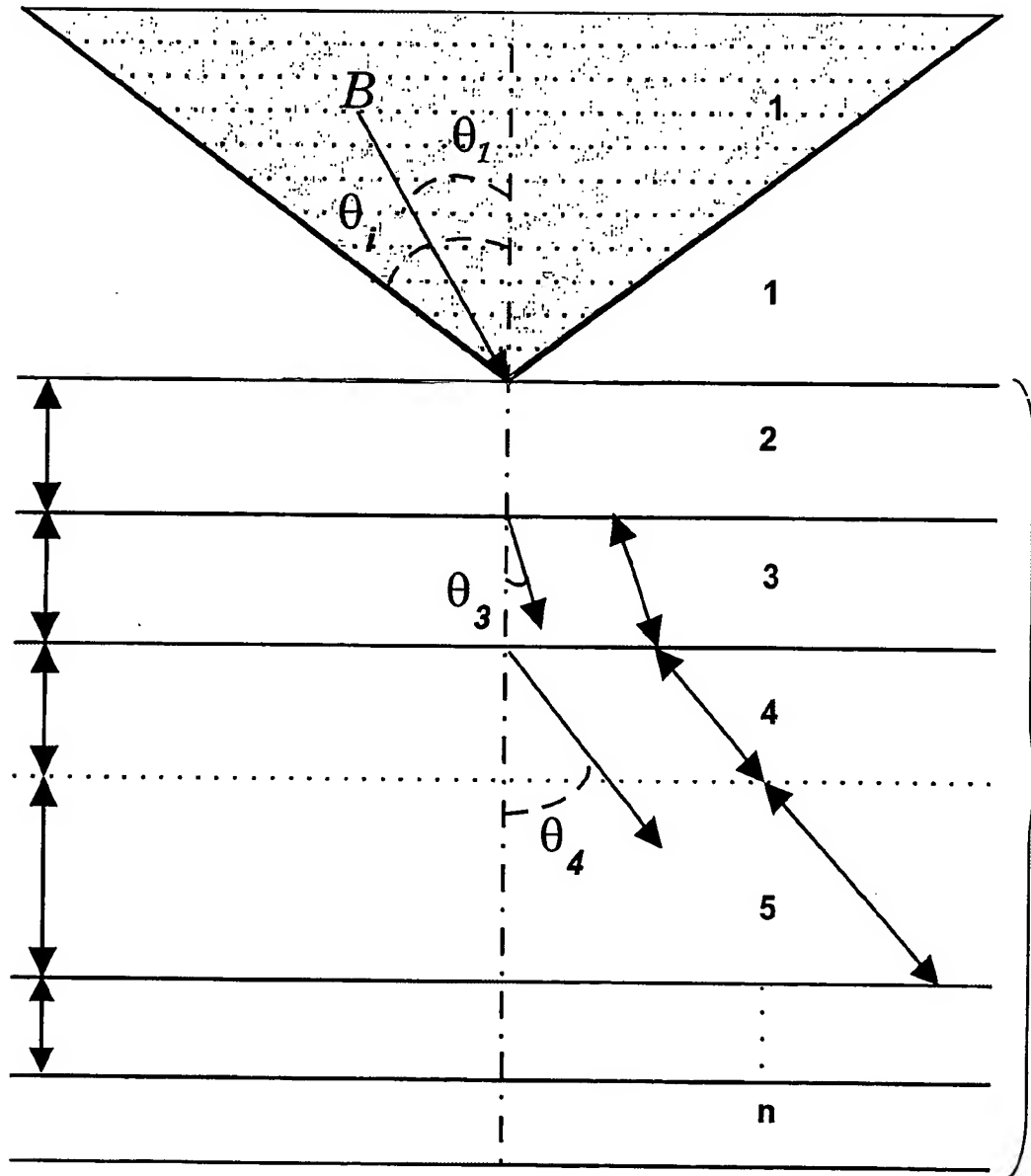


Fig. 1